

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Eiju KOMURO, et al.

GAU:

SERIAL NO: New Application

EXAMINER:

FILED: Herewith

FOR: PIEZOELECTRIC RESONANT FILTER AND DUPLEXER

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS  
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.

☐ Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e): Application No. Date Filed

☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

COUNTRY

APPLICATION NUMBER

MONTH/DAY/YEAR

Japan

2002-359027

December 11, 2002

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

☒ are submitted herewith

☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

☐ were filed in prior application Serial No. filed

☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number

Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.

☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and

☐ (B) Application Serial No.(s)

☐ are submitted herewith

☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.

Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913

James D. Hamilton  
Registration No. 28,421

Customer Number

22850

Tel. (703) 413-3000  
Fax. (703) 413-2220  
(OSMMN 05/03)

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 2 年 1 2 月 1 1 日  
Date of Application:

出 願 番 号            特 願 2 0 0 2 - 3 5 9 0 2 7  
Application Number:  
[ST. 10/C]:            [ J P 2 0 0 2 - 3 5 9 0 2 7 ]

出      願      人            T D K 株 式 会 社  
Applicant(s):

2 0 0 3 年    9 月 1 7 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康



【書類名】 特許願

【整理番号】 TD04427

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H03H 09/17

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 ティーディーケイ株式会社内

    【氏名】 小室 栄樹

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 ティーディーケイ株式会社内

    【氏名】 斎藤 久俊

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 ティーディーケイ株式会社内

    【氏名】 野口 隆男

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 ティーディーケイ株式会社内

    【氏名】 阿部 秀典

【特許出願人】

    【識別番号】 000003067

    【氏名又は名称】 ティーディーケイ株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100107559

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 星宮 勝美

**【手数料の表示】****【予納台帳番号】** 064839**【納付金額】** 21,000円**【提出物件の目録】****【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1**【プルーフの要否】** 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 圧電共振フィルタおよびデュプレクサ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 それぞれ、圧電性を有する圧電薄膜と、前記圧電薄膜の両面に配置され、前記圧電薄膜に対して励振用電圧を印加するための 2 つの励振用電極とを有する複数の薄膜圧電共振子を備え、通過帯域の両側に配置される低周波側の減衰極および高周波側の減衰極を示す周波数特性を有する圧電共振フィルタであって、

前記低周波側の減衰極が現れる第 1 の周波数と前記高周波側の減衰極が現れる第 2 の周波数とで、温度変化に対する周波数の変化率が異なることを特徴とする圧電共振フィルタ。

【請求項 2】 前記複数の薄膜圧電共振子として、ラダー型のフィルタ回路を構成する直列共振子と並列共振子とを含み、

前記並列共振子は前記低周波側の減衰極を発現させ、前記直列共振子は前記高周波側の減衰極を発現させ、

前記直列共振子と並列共振子の少なくとも一方は、共振周波数の温度変化に対する変化率を零に近づけるための温度補償層を有し、

前記直列共振子における前記温度補償層の厚みと前記並列共振子における前記温度補償層の厚みとは互いに異なっていることを特徴とする請求項 1 記載の圧電共振フィルタ。

【請求項 3】 前記温度補償層は二酸化ケイ素によって形成されていることを特徴とする請求項 2 記載の圧電共振フィルタ。

【請求項 4】 前記複数の薄膜圧電共振子は、それぞれ、音響インピーダンスが異なる複数の層を含むと共に一方の励振用電極を挟んで前記圧電薄膜とは反対側に配置された音響多層膜を有していることを特徴とする請求項 2 または 3 記載の圧電共振フィルタ。

【請求項 5】 前記音響多層膜の複数の層のうちの一部の層は、前記温度補償層の一部を兼ねていることを特徴とする請求項 4 記載の圧電共振フィルタ。

【請求項 6】 送信信号を通過させ、受信信号を遮断する送信用フィルタと

、受信信号を通過させ、送信信号を遮断する受信用フィルタとを備え、アンテナに接続されるデュプレクサであって、

前記送信用フィルタは、第1の通過帯域の両側に配置される第1の低周波側の減衰極および第1の高周波側の減衰極を示す周波数特性を有し、

前記受信用フィルタは、前記第1の通過帯域とは異なる第2の通過帯域の両側に配置される第2の低周波側の減衰極および第2の高周波側の減衰極を示す周波数特性を有し、

前記送信用フィルタおよび前記受信用フィルタのうち、少なくとも送信用フィルタは、複数の薄膜圧電共振子を備え、各薄膜圧電共振子は、それぞれ、圧電性を有する圧電薄膜と、前記圧電薄膜の両面に配置され、前記圧電薄膜に対して励振用電圧を印加するための2つの励振用電極とを有し、

前記第1の低周波側の減衰極が現れる周波数と前記第1の高周波側の減衰極が現れる周波数のうち、前記第2の通過帯域に近い方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率は、他方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率よりも小さいことを特徴とするデュプレクサ。

【請求項7】 前記送信用フィルタは、前記複数の薄膜圧電共振子として、ラダー型のフィルタ回路を構成する直列共振子と並列共振子とを含み、前記並列共振子は前記第1の低周波側の減衰極を発現させ、前記直列共振子は前記第1の高周波側の減衰極を発現させ、前記直列共振子と並列共振子の少なくとも一方は、共振周波数の温度変化に対する変化率を零に近づけるための温度補償層を有し、前記直列共振子における前記温度補償層の厚みと前記並列共振子における前記温度補償層の厚みとは互いに異なっていることを特徴とする請求項6記載のデュプレクサ。

【請求項8】 前記温度補償層は二酸化ケイ素によって形成されていることを特徴とする請求項7記載のデュプレクサ。

【請求項9】 前記複数の薄膜圧電共振子は、それぞれ、音響インピーダンスが異なる複数の層を含むと共に一方の励振用電極を挟んで前記圧電薄膜とは反対側に配置された音響多層膜を有していることを特徴とする請求項7または8記載のデュプレクサ。

【請求項 10】 前記音響多層膜の複数の層のうちの一部の層は、前記温度補償層の一部を兼ねていることを特徴とする請求項 9 記載のデュプレクサ。

【請求項 11】 送信信号を通過させ、受信信号を遮断する送信用フィルタと、受信信号を通過させ、送信信号を遮断する受信用フィルタとを備え、アンテナに接続されるデュプレクサであって、

前記送信用フィルタは、第 1 の通過帯域の両側に配置される第 1 の低周波側の減衰極および第 1 の高周波側の減衰極を示す周波数特性を有し、

前記受信用フィルタは、前記第 1 の通過帯域とは異なる第 2 の通過帯域の両側に配置される第 2 の低周波側の減衰極および第 2 の高周波側の減衰極を示す周波数特性を有し、

前記送信用フィルタおよび前記受信用フィルタのうち、少なくとも受信用フィルタは、複数の薄膜圧電共振子を備え、各薄膜圧電共振子は、それぞれ、圧電性を有する圧電薄膜と、前記圧電薄膜の両面に配置され、前記圧電薄膜に対して励振用電圧を印加するための 2 つの励振用電極とを有し、

前記第 2 の低周波側の減衰極が現れる周波数と前記第 2 の高周波側の減衰極が現れる周波数のうち、前記第 1 の通過帯域に近い方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率は、他方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率よりも小さいことを特徴とするデュプレクサ。

【請求項 12】 前記受信用フィルタは、前記複数の薄膜圧電共振子として、ラダー型のフィルタ回路を構成する直列共振子と並列共振子とを含み、前記並列共振子は前記第 2 の低周波側の減衰極を発現させ、前記直列共振子は前記第 2 の高周波側の減衰極を発現させ、前記直列共振子と並列共振子の少なくとも一方は、共振周波数の温度変化に対する変化率を零に近づけるための温度補償層を有し、前記直列共振子における前記温度補償層の厚みと前記並列共振子における前記温度補償層の厚みとは互いに異なっていることを特徴とする請求項 11 記載のデュプレクサ。

【請求項 13】 前記温度補償層は二酸化ケイ素によって形成されていることを特徴とする請求項 12 記載のデュプレクサ。

【請求項 14】 前記複数の薄膜圧電共振子は、それぞれ、音響インピーダ

ンスが異なる複数の層を含むと共に一方の励振用電極を挟んで前記圧電薄膜とは反対側に配置された音響多層膜を有していることを特徴とする請求項 12 または 13 記載のデュプレクサ。

【請求項 15】 前記音響多層膜の複数の層のうちの一部の層は、前記温度補償層の一部を兼ねていることを特徴とする請求項 14 記載のデュプレクサ。

【請求項 16】 送信信号を通過させ、受信信号を遮断する送信用フィルタと、受信信号を通過させ、送信信号を遮断する受信用フィルタとを備え、アンテナに接続されるデュプレクサであって、

前記送信用フィルタは、第 1 の通過帯域の両側に配置される第 1 の低周波側の減衰極および第 1 の高周波側の減衰極を示す周波数特性を有し、

前記受信用フィルタは、前記第 1 の通過帯域とは異なる第 2 の通過帯域の両側に配置される第 2 の低周波側の減衰極および第 2 の高周波側の減衰極を示す周波数特性を有し、

前記送信用フィルタおよび前記受信用フィルタは、いずれも、複数の薄膜圧電共振子を備え、各薄膜圧電共振子は、それぞれ、圧電性を有する圧電薄膜と、前記圧電薄膜の両面に配置され、前記圧電薄膜に対して励振用電圧を印加するための 2 つの励振用電極とを有し、

前記第 1 の低周波側の減衰極が現れる周波数と前記第 1 の高周波側の減衰極が現れる周波数のうち、前記第 2 の通過帯域に近い方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率は、他方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率よりも小さく、

前記第 2 の低周波側の減衰極が現れる周波数と前記第 2 の高周波側の減衰極が現れる周波数のうち、前記第 1 の通過帯域に近い方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率は、他方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率よりも小さいことを特徴とするデュプレクサ。

【請求項 17】 前記送信用フィルタは、前記複数の薄膜圧電共振子として、ラダー型のフィルタ回路を構成する第 1 の直列共振子と第 1 の並列共振子とを含み、前記第 1 の並列共振子は前記第 1 の低周波側の減衰極を発現させ、前記第 1 の直列共振子は前記第 1 の高周波側の減衰極を発現させ、前記第 1 の直列共振



子と第 1 の並列共振子の少なくとも一方は、共振周波数の温度変化に対する変化率を零に近づけるための温度補償層を有し、前記第 1 の直列共振子における前記温度補償層の厚みと前記第 1 の並列共振子における前記温度補償層の厚みとは互いに異なっており、

前記受信用フィルタは、前記複数の薄膜圧電共振子として、ラダー型のフィルタ回路を構成する第 2 の直列共振子と第 2 の並列共振子とを含み、前記第 2 の並列共振子は前記第 2 の低周波側の減衰極を発現させ、前記第 2 の直列共振子は前記第 2 の高周波側の減衰極を発現させ、前記第 2 の直列共振子と第 2 の並列共振子の少なくとも一方は、共振周波数の温度変化に対する変化率を零に近づけるための温度補償層を有し、前記第 2 の直列共振子における前記温度補償層の厚みと前記第 2 の並列共振子における前記温度補償層の厚みとは互いに異なっていることを特徴とする請求項 16 記載のデュプレクサ。

【請求項 18】 前記温度補償層は二酸化ケイ素によって形成されていることを特徴とする請求項 17 記載のデュプレクサ。

【請求項 19】 前記複数の薄膜圧電共振子は、それぞれ、音響インピーダンスが異なる複数の層を含むと共に一方の励振用電極を挟んで前記圧電薄膜とは反対側に配置された音響多層膜を有していることを特徴とする請求項 17 または 18 記載のデュプレクサ。

【請求項 20】 前記音響多層膜の複数の層のうちの一部の層は、前記温度補償層の一部を兼ねていることを特徴とする請求項 19 記載のデュプレクサ。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

##### 【発明の属する技術分野】

本発明は、薄膜圧電共振子を含む圧電共振フィルタおよびこの圧電共振フィルタを含むデュプレクサに関する。

##### 【0002】

##### 【従来の技術】

近年飛躍的に普及してきた携帯電話等の移動体通信機器では、年々、小型化、および使用周波数の高周波化が進められている。そのため、移動体通信機器に使

用される電子部品にも、小型化、および対応可能な周波数の高周波化が要望されている。

#### 【0003】

移動体通信機器には、1つのアンテナを送信と受信とに共用させるために送信信号の経路と受信信号の経路とを切り替えるデュプレクサを備えているものがある。このデュプレクサは、送信信号を通過させ、受信信号を遮断する送信用フィルタと、受信信号を通過させ、送信信号を遮断する受信用フィルタとを備えている。

#### 【0004】

近年、上記デュプレクサにおけるフィルタには、弾性表面波フィルタが用いられることがある。弾性表面波フィルタは、数GHzまでの周波数に対応でき、また、セラミックフィルタに比べて小型化が可能であるという特徴を有する。しかし、今後、移動体通信機器の使用周波数がさらに高周波となった場合、弾性表面波フィルタがそのような周波数に対応するには、現状では技術的課題が多い。

#### 【0005】

そこで、最近、薄膜バルクアコースティック共振子 (Thin Film Bulk Acoustic Resonator) とも呼ばれる薄膜圧電共振子が注目されている (特許文献1-8 および非特許文献1参照。)。この薄膜圧電共振子は、圧電薄膜の厚み方向の共振を利用した共振子である。薄膜圧電共振子では、圧電薄膜の厚みを変えることにより共振周波数を変えることができる。また、薄膜圧電共振子は、数GHzの周波数まで対応することが可能であると考えられる。なお、本出願において、「共振周波数」は、特に反共振周波数と対比させて使用する場合を除き、反共振周波数も含むものとする。

#### 【0006】

薄膜圧電共振子は、圧電薄膜と、この圧電薄膜の両面に配置された2つの電極と、これらを支持する基体とを備えている。基体には、圧電薄膜および2つの電極が配置された面とは反対側の面において開口する空洞が設けられている場合がある (特許文献1, 2参照。)。あるいは、一方の電極と基体との間に空隙が設けられている場合もある (特許文献3参照。)。あるいは、上記空洞や空隙が設

けられず、基体の上に音響多層膜を介して圧電薄膜および2つの電極が配置されている場合もある（非特許文献1参照。）。

#### 【0007】

共振子を用いたフィルタとしては、例えばラダー型フィルタがある。このラダー型フィルタは、基本構成として直列共振子と並列共振子とを含む。ラダー型フィルタは、必要に応じて、複数の基本構成部分が縦続接続されて構成される。

#### 【0008】

ところで、通常、薄膜圧電共振子では、何ら対策を講じない場合には、その共振周波数が温度の変化に応じて変化する。以下、この性質を共振周波数の温度特性と言う。この共振周波数の温度特性が発現するのは、ZnO、CdS、AlN等の、圧電薄膜に用いられる代表的な圧電材料の弾性定数が温度によって変化するためである。

#### 【0009】

例えば、圧電薄膜の材料としてZnOを用いた薄膜圧電共振子では、その共振周波数の温度係数は、約 $-60\text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ である。なお、共振周波数の温度係数とは、温度変化に対する共振周波数の変化率を言う。

#### 【0010】

従来、薄膜圧電共振子における共振周波数の温度係数を零に近づける方法としては、薄膜圧電共振子に、圧電薄膜の材料の弾性定数の温度係数とは正負の符号が異なる弾性定数の温度係数を有する材料よりなる薄膜（以下、温度補償膜と言う。）を付加する方法が知られていた（特許文献1，2，4参照。）。なお、弾性定数の温度係数とは、温度変化に対する弾性定数の変化率を言う。温度補償膜の材料としては、例えばSiO<sub>2</sub>が用いられる。

#### 【0011】

温度補償膜を薄膜圧電共振子に付加すると、温度補償膜の厚みに応じて薄膜圧電共振子の共振周波数の温度係数が変化する。そこで、最適な厚みの温度補償膜を薄膜圧電共振子に付加することによって、薄膜圧電共振子の共振周波数の温度係数を零に近づけることができる。

#### 【0012】

なお、特許文献5には、基板の上に下地電極、圧電薄膜、上部電極が順に形成された構造を有する薄膜圧電振動子において、上部電極の引出し電極と圧電薄膜との間に、 $\text{SiO}_2$ 等の絶縁材料よりなる膜を設ける技術が記載されている。この技術の目的は、上部電極の引出し電極と基板との間の容量を小さくすることである。

#### 【0013】

また、特許文献6には、基板の上に下部電極、圧電薄膜、上部電極が順に形成された構造を有する圧電薄膜共振子において、基板上に $\text{SiO}_2$ 等の誘電体材料よりなる誘電体層を設けると共に、その誘電体層の実効的厚みを場所によって異ならせる技術が記載されている。この技術の目的は、下部電極および上部電極と基板との間の容量を小さくすることである。

#### 【0014】

また、特許文献7には、複数の薄膜共振器を含む格子フィルタにおいて、一部の共振器の上に、その共振器に対して質量負荷を与える膜を設ける技術が記載されている。上記膜は、共振器の共振周波数を所定量だけ変化させるものである。特許文献7には、上記膜の材料の一例として酸化シリコンが挙げられている。

#### 【0015】

また、特許文献8には、 $\text{SiO}_2$ よりなる薄膜を含む圧電薄膜共振子において、直列共振と並列共振の少なくとも一方を示す周波数を測定し、測定された周波数と基準周波数との差異を最小限にするために、上記薄膜の厚みを変更する技術が記載されている。

#### 【0016】

##### 【特許文献1】

特開昭58-137317号公報

##### 【特許文献2】

特開昭58-153412号公報

##### 【特許文献3】

特開昭60-189307号公報（第2-3頁、第3図、第4図）

##### 【特許文献4】

特開昭 60-68711 号公報 (第 2-3 頁、第 3 図、第 4 図)

【特許文献 5】

特開昭 59-141813 号公報 (第 2-3 頁、第 3 図、第 4 図)

【特許文献 6】

特開昭 60-171822 号公報 (第 2 頁、第 3 図、第 4 図)

【特許文献 7】

特開平 9-64683 号公報 (第 4-5 頁、図 4-5)

【特許文献 8】

特表 2001-502136 号公報 (第 15 頁、図 6a)

【非特許文献 1】

キヨシ・ナカムラ (Kiyoshi Nakamura)、外 1 名、「シン・フィルム・レゾネーターズ・アンド・フィルタース (Thin Film Resonators and Filters)」、インターナショナル・シンポジウム・オン・アコースティック・ウェイブ・デバイス・フォー・フューチャー・モバイル・コミュニケーション・システムズ (International Symposium on Acoustic Wave Devices for Future Mobile Communication Systems)、2001 年 3 月 5-7 日、論文集 p. 93-99

【0017】

【発明が解決しようとする課題】

ラダー型フィルタは、通過帯域の両側に配置される低周波側の減衰極および高周波側の減衰極を示す周波数特性を有している。並列共振子の共振周波数は低周波側の減衰極が現れる周波数と一致し、直列共振子の反共振周波数は高周波側の減衰極が現れる周波数と一致する。従って、直列共振子および並列共振子として薄膜圧電共振子を用いたフィルタでは、温度の変化に応じて薄膜圧電共振子の共振周波数が変化すると、温度の変化に応じてフィルタの通過帯域が変化するという問題点がある。

【0018】

また、デュプレクサにおいては、温度の変化に応じて送信用フィルタの通過帯域や受信用フィルタの通過帯域が変化すると、以下のような問題が発生する。なお、以下の説明では、送信信号の周波数帯域は、受信信号の周波数帯域よりも低

周波側に存在するものとする。この場合には、特に、送信用フィルタにおける高周波側の減衰極が現れる周波数と、受信用フィルタにおける低周波側の減衰極が現れる周波数の変化が問題となる。それは、これらの周波数の変化は、送信信号と受信信号とを分離するデュプレクサの性能を低下させるためである。

#### 【0019】

そこで、フィルタに含まれる複数の薄膜圧電共振子に対して、それぞれ最適な厚みの温度補償膜を付加することによって、各薄膜圧電共振子の共振周波数の温度係数を零に近づけることが考えられる。

#### 【0020】

しかしながら、上記温度補償膜としてよく用いられる  $\text{SiO}_2$  の薄膜は、非晶質であるため圧電性を有していない。そのため、 $\text{SiO}_2$  よりなる温度補償膜を薄膜圧電共振子に付加した場合、温度補償膜の厚みを大きくするほど、共振子全体の電気機械結合係数が低下する。その結果、薄膜圧電共振子を含むフィルタの通過帯域幅が減少する。

#### 【0021】

従来、複数の薄膜圧電共振子を含むフィルタにおいて、温度補償膜を薄膜圧電共振子に付加する場合には、例えば、フィルタ全体にわたって温度補償膜を設けていた。この場合には、温度補償膜を設けることによるフィルタの通過帯域幅の減少を抑制することはできない。

#### 【0022】

特許文献4に記載されているように、基板上において、薄膜圧電共振子が配置された領域を含む一部の領域にのみ温度補償膜を設ける場合もある。この場合であっても、フィルタ中の複数の薄膜圧電共振子の全てに対して、均一な厚みの温度補償膜が設けられる。従って、この場合にも、温度補償膜を設けることによるフィルタの通過帯域幅の減少を抑制することはできない。

#### 【0023】

特許文献5に記載された技術では、 $\text{SiO}_2$  等の絶縁材料よりなる膜は、薄膜圧電振動子における振動部位以外の領域に設けられる。そのため、この膜は、温度補償膜として機能しない。

## 【0024】

特許文献6に記載された技術では、誘電体層の実効的厚みを場所によって異ならせている。ただし、薄膜圧電共振子が配置された領域に設けられる誘電体層の厚みは均一である。誘電体層の材料として $\text{SiO}_2$ を用いると、薄膜圧電共振子が配置された領域に設けられる誘電体層は温度補償膜として機能し得る。しかし、この技術を、複数の薄膜圧電共振子を含むフィルタに適用した場合には、複数の薄膜圧電共振子の全てに対して、均一な厚みの誘電体層が設けられる。従って、この場合には、誘電体層を設けることによるフィルタの通過帯域幅の減少を抑制することはできない。

## 【0025】

特許文献7に記載された技術では、質量負荷を与える膜は、共振器の共振周波数を所定量だけ変化させるために設けられる。そのため、この膜の材料として酸化シリコンを用いたとしても、この膜の厚みを、共振器の共振周波数の温度係数を零に近づけるように最適化することはできない。

## 【0026】

特許文献8に記載された技術では、薄膜の厚みは、測定された周波数と基準周波数との差異を最小限にするように設定される。そのため、この薄膜の材料として $\text{SiO}_2$ を用いたとしても、この薄膜の厚みを、共振子の共振周波数の温度係数を零に近づけるように最適化することはできない。

## 【0027】

本発明はかかる問題点に鑑みてなされたもので、その目的は、通過帯域幅が減少することを抑制しながら、温度変化に伴う通過帯域の変化による不具合の発生を防止できるようにした圧電共振フィルタおよびこの圧電共振フィルタを含むデュプレクサを提供することにある。

## 【0028】

## 【課題を解決するための手段】

本発明の圧電共振フィルタは、それぞれ、圧電性を有する圧電薄膜と、圧電薄膜の両面に配置され、圧電薄膜に対して励振用電圧を印加するための2つの励振用電極とを有する複数の薄膜圧電共振子を備え、通過帯域の両側に配置される低

周波側の減衰極および高周波側の減衰極を示す周波数特性を有している。本発明の圧電共振フィルタにおいて、低周波側の減衰極が現れる第1の周波数と高周波側の減衰極が現れる第2の周波数とでは、温度変化に対する周波数の変化率が異なっている。

#### 【0029】

本発明の圧電共振フィルタでは、第1の周波数と第2の周波数の一方における温度変化に対する周波数の変化率は、他方における温度変化に対する周波数の変化率よりも小さくなる。

#### 【0030】

本発明の圧電共振フィルタは、複数の薄膜圧電共振子として、ラダー型のフィルタ回路を構成する直列共振子と並列共振子とを含んでいてもよい。並列共振子は低周波側の減衰極を発現させ、直列共振子は高周波側の減衰極を発現させる。直列共振子と並列共振子の少なくとも一方は、共振周波数の温度変化に対する変化率を零に近づけるための温度補償層を有し、直列共振子における温度補償層の厚みと並列共振子における温度補償層の厚みとは互いに異なってもよい。なお、本発明は、直列共振子における温度補償層の厚みと並列共振子における温度補償層の厚みの一方が零である場合も含む。

#### 【0031】

また、本発明の圧電共振フィルタにおいて、温度補償層は二酸化ケイ素（SiO<sub>2</sub>）によって形成されていてもよい。また、本発明の圧電共振フィルタにおいて、複数の薄膜圧電共振子は、それぞれ、音響インピーダンスが異なる複数の層を含むと共に一方の励振用電極を挟んで圧電薄膜とは反対側に配置された音響多層膜を有していてもよい。音響多層膜の複数の層のうちの一部の層は、温度補償層の一部を兼ねていてもよい。

#### 【0032】

本発明の第1ないし第3のデュプレクサは、送信信号を通過させ、受信信号を遮断する送信用フィルタと、受信信号を通過させ、送信信号を遮断する受信用フィルタとを備え、アンテナに接続されるものである。送信用フィルタは、第1の通過帯域の両側に配置される第1の低周波側の減衰極および第1の高周波側の減



衰極を示す周波数特性を有している。受信用フィルタは、第1の通過帯域とは異なる第2の通過帯域の両側に配置される第2の低周波側の減衰極および第2の高周波側の減衰極を示す周波数特性を有している。

#### 【0033】

本発明の第1のデュプレクサにおいて、送信用フィルタおよび受信用フィルタのうち、少なくとも送信用フィルタは、複数の薄膜圧電共振子を備えている。各薄膜圧電共振子は、それぞれ、圧電性を有する圧電薄膜と、圧電薄膜の両面に配置され、圧電薄膜に対して励振用電圧を印加するための2つの励振用電極とを有している。

#### 【0034】

本発明の第1のデュプレクサにおいて、第1の低周波側の減衰極が現れる周波数と第1の高周波側の減衰極が現れる周波数のうち、第2の通過帯域に近い方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率は、他方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率よりも小さい。

#### 【0035】

本発明の第1のデュプレクサにおいて、送信用フィルタは、複数の薄膜圧電共振子として、ラダー型のフィルタ回路を構成する直列共振子と並列共振子とを含んでいてもよい。並列共振子は第1の低周波側の減衰極を発現させ、直列共振子は第1の高周波側の減衰極を発現させる。直列共振子と並列共振子の少なくとも一方は、共振周波数の温度変化に対する変化率を零に近づけるための温度補償層を有し、直列共振子における温度補償層の厚みと並列共振子における温度補償層の厚みとは互いに異なってもよい。なお、本発明は、直列共振子における温度補償層の厚みと並列共振子における温度補償層の厚みの一方が零である場合も含む。

#### 【0036】

本発明の第2のデュプレクサにおいて、送信用フィルタおよび受信用フィルタのうち、少なくとも受信用フィルタは、複数の薄膜圧電共振子を備えている。各薄膜圧電共振子は、それぞれ、圧電性を有する圧電薄膜と、圧電薄膜の両面に配置され、圧電薄膜に対して励振用電圧を印加するための2つの励振用電極とを有

している。

#### 【0037】

本発明の第2のデュプレクサにおいて、第2の低周波側の減衰極が現れる周波数と第2の高周波側の減衰極が現れる周波数のうち、第1の通過帯域に近い方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率は、他方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率よりも小さい。

#### 【0038】

本発明の第2のデュプレクサにおいて、受信用フィルタは、複数の薄膜圧電共振子として、ラダー型のフィルタ回路を構成する直列共振子と並列共振子とを含んでいてもよい。並列共振子は第2の低周波側の減衰極を発現させ、直列共振子は第2の高周波側の減衰極を発現させる。直列共振子と並列共振子の少なくとも一方は、共振周波数の温度変化に対する変化率を零に近づけるための温度補償層を有し、直列共振子における温度補償層の厚みと並列共振子における温度補償層の厚みとは互いに異なってもよい。なお、本発明は、直列共振子における温度補償層の厚みと並列共振子における温度補償層の厚みの一方が零である場合も含む。

#### 【0039】

本発明の第3のデュプレクサにおいて、送信用フィルタおよび受信用フィルタは、いずれも、複数の薄膜圧電共振子を備えている。各薄膜圧電共振子は、それぞれ、圧電性を有する圧電薄膜と、圧電薄膜の両面に配置され、圧電薄膜に対して励振用電圧を印加するための2つの励振用電極とを有している。

#### 【0040】

本発明の第3のデュプレクサにおいて、第1の低周波側の減衰極が現れる周波数と第1の高周波側の減衰極が現れる周波数のうち、第2の通過帯域に近い方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率は、他方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率よりも小さい。

#### 【0041】

また、本発明の第3のデュプレクサにおいて、第2の低周波側の減衰極が現れる周波数と第2の高周波側の減衰極が現れる周波数のうち、第1の通過帯域に近

い方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率は、他方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率よりも小さい。

#### 【0042】

本発明の第3のデュプレクサにおいて、送信用フィルタは、複数の薄膜圧電共振子として、ラダー型のフィルタ回路を構成する第1の直列共振子と第1の並列共振子とを含んでいてもよい。第1の並列共振子は第1の低周波側の減衰極を発現させ、第1の直列共振子は第1の高周波側の減衰極を発現させる。第1の直列共振子と第1の並列共振子の少なくとも一方は、共振周波数の温度変化に対する変化率を零に近づけるための温度補償層を有し、第1の直列共振子における温度補償層の厚みと第1の並列共振子における温度補償層の厚みとは互いに異なっている。なお、本発明は、第1の直列共振子における温度補償層の厚みと第1の並列共振子における温度補償層の厚みの一方が零である場合も含む。

#### 【0043】

同様に、本発明の第3のデュプレクサにおいて、受信用フィルタは、複数の薄膜圧電共振子として、ラダー型のフィルタ回路を構成する第2の直列共振子と第2の並列共振子とを含んでいてもよい。第2の並列共振子は第2の低周波側の減衰極を発現させ、第2の直列共振子は第2の高周波側の減衰極を発現させる。第2の直列共振子と第2の並列共振子の少なくとも一方は、共振周波数の温度変化に対する変化率を零に近づけるための温度補償層を有し、第2の直列共振子における温度補償層の厚みと第2の並列共振子における温度補償層の厚みとは互いに異なっている。なお、本発明は、第2の直列共振子における温度補償層の厚みと第2の並列共振子における温度補償層の厚みの一方が零である場合も含む。

#### 【0044】

また、本発明の第1ないし第3のデュプレクサにおいて、温度補償層は二酸化ケイ素によって形成されていてもよい。また、本発明の第1ないし第3のデュプレクサにおいて、複数の薄膜圧電共振子は、それぞれ、音響インピーダンスが異なる複数の層を含むと共に一方の励振用電極を挟んで圧電薄膜とは反対側に配置された音響多層膜を有していてもよい。音響多層膜の複数の層のうちの一部の層

は、温度補償層の一部を兼ねていてもよい。

#### 【0045】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。まず、図4を参照して、本発明の一実施の形態に係るデュプレクサの構成について説明する。図4は、本実施の形態に係るデュプレクサの回路図である。本実施の形態に係るデュプレクサ90は、図示しないアンテナに接続されるアンテナ端子91、92と、アンテナに対して送信信号を出力する図示しない送信回路に接続される送信信号端子93、94と、アンテナからの受信信号を入力する図示しない受信回路に接続される受信信号端子95、96とを備えている。

#### 【0046】

デュプレクサ90は、更に、送信信号を通過させ、受信信号を遮断する送信用フィルタ97と、受信信号を通過させ、送信信号を遮断する受信用フィルタ98とを備えている。フィルタ97、98は、それぞれ、2つの入力端子と2つの出力端子とを有している。

#### 【0047】

送信用フィルタ97の2つの入力端子はそれぞれ送信信号端子93、94に接続されている。送信用フィルタ97の2つの出力端子はそれぞれアンテナ端子91、92に接続されている。受信用フィルタ98の一方の入力端子は4分の1波長位相変換器99を介してアンテナ端子91に接続され、他方の入力端子はアンテナ端子92に接続されている。受信用フィルタ98の2つの出力端子はそれぞれ受信信号端子95、96に接続されている。

#### 【0048】

送信回路から送られてきた送信信号は、送信用フィルタ97を通過してアンテナに送られる。また、アンテナからの受信信号は、4分の1波長位相変換器99を通過して、4分の1波長だけ位相がずれた信号に変換された後、受信用フィルタ98を通過して図示しない受信回路に送られる。

#### 【0049】

後で詳しく説明するが、送信用フィルタ97と受信用フィルタ98は共に、本

実施の形態に係る圧電共振フィルタによって構成されている。

#### 【0050】

図5は、本実施の形態に係るデュプレクサ90の周波数特性の一例を示す特性図である。図5は、一定レベルの信号をデュプレクサ90の送信用フィルタ97または受信用フィルタ98に入力させたときの、各フィルタ97、98の出力信号のレベルの周波数特性を表わしている。図5において、符号110は送信用フィルタ97の出力信号のレベルの周波数特性を示し、符号120は受信用フィルタ98の出力信号のレベルの周波数特性を示している。

#### 【0051】

この例では、送信用フィルタ97は、所定の第1の通過帯域の両側に配置される第1の低周波側の減衰極111および第1の高周波側の減衰極112を示す周波数特性を有している。また、受信用フィルタ98は、第1の通過帯域とは異なる第2の通過帯域の両側に配置される第2の低周波側の減衰極121および第2の高周波側の減衰極122を示す周波数特性を有している。この例では、第1の通過帯域は、第2の通過帯域よりも低周波側に位置している。

#### 【0052】

ここで、減衰極111、112、121、122が現れる周波数を、それぞれ、 $f_{11}$ 、 $f_{12}$ 、 $f_{21}$ 、 $f_{22}$ で表わす。第1の通過帯域は周波数 $f_{11}$ と周波数 $f_{12}$ との間に存在する。しかし、第1の通過帯域は、必ずしも周波数 $f_{11}$ と周波数 $f_{12}$ との間の周波数領域と一致するわけではない。例えば、第1の通過帯域を、出力信号のレベルが最大値よりも3dBの低下となる2つの周波数の間の帯域として規定すると、第1の通過帯域は周波数 $f_{11}$ と周波数 $f_{12}$ との間の周波数領域よりも狭くなる。同様に、第2の通過帯域は、周波数 $f_{21}$ と周波数 $f_{22}$ との間に存在するが、必ずしも周波数 $f_{21}$ と周波数 $f_{22}$ との間の周波数領域と一致するわけではない。

#### 【0053】

次に、図1および図2を参照して、本実施の形態に係る圧電共振フィルタ、すなわち送信用フィルタ97および受信用フィルタ98の回路構成について説明する。

**【0054】**

図1は、送信用フィルタ97の回路構成の一例を示す回路図である。この送信用フィルタ97は、入力端41Tと出力端42Tとを有している。送信用フィルタ97は、更に、それぞれ薄膜圧電共振子からなり、ラダー型のフィルタ回路を構成する第1ないし第4の直列共振子21Tおよび第1および第2の並列共振子22Tとを有している。第1の直列共振子21Tの一端は入力端41Tに接続されている。第1の直列共振子21Tの他端は、第2の直列共振子21Tの一端に接続されている。第2の直列共振子21Tの他端は、第3の直列共振子21Tの一端に接続されている。第3の直列共振子21Tの他端は、第4の直列共振子21Tの一端に接続されている。第4の直列共振子21Tの他端は出力端42Tに接続されている。

**【0055】**

第1の並列共振子22Tの一端は、第1および第2の直列共振子21Tの接続点に接続されている。第1の並列共振子22Tの他端は接地されている。第2の並列共振子22Tの一端は、第3および第4の直列共振子21Tの接続点に接続されている。第2の並列共振子22Tの他端は接地されている。

**【0056】**

図2は、受信用フィルタ98の回路構成の一例を示す回路図である。この受信用フィルタ98は、入力端41Rと出力端42Rとを有している。受信用フィルタ98は、更に、それぞれ薄膜圧電共振子からなり、ラダー型のフィルタ回路を構成する第1および第2の直列共振子21Rおよび第1ないし第4の並列共振子22Rとを有している。第1の直列共振子21Rの一端は入力端41Rに接続されている。第1の直列共振子21Rの他端は、第2の直列共振子21Rの一端に接続されている。第2の直列共振子21Rの他端は出力端42Rに接続されている。

**【0057】**

第1の並列共振子22Rの一端は、第1の直列共振子21Rの一端に接続されている。第2の並列共振子22Rの一端は、第1の直列共振子21Rの他端に接続されている。第3の並列共振子22Rの一端は、第2の直列共振子21Rの一

端に接続されている。第 4 の並列共振子 22 R の一端は、第 2 の直列共振子 21 R の他端に接続されている。第 1 ないし第 4 の並列共振子 22 R の他端は接地されている。

#### 【0058】

なお、送信用フィルタ 97 および受信用フィルタ 98 の回路構成は、それぞれ図 1、図 2 に示した構成に限られない。例えば、送信用フィルタ 97 および受信用フィルタ 98 の回路構成は、共に、図 1 に示した回路から第 2 および第 4 の直列共振子 21 T を除いた構成、または図 1 に示した回路から第 1 および第 3 の直列共振子 21 T を除いた構成であってもよい。

#### 【0059】

また、図 1 および図 2 に示した回路は、2 つの基本構成部分を縦続接続して構成されている。しかし、送信用フィルタ 97 および受信用フィルタ 98 の回路構成は、1 つの基本構成部分によって構成されてもよいし、3 つ以上の基本構成部分を縦続接続して構成されていてもよい。

#### 【0060】

薄膜圧電共振子は、圧電性を有する圧電薄膜と、圧電薄膜の両面に配置され、圧電薄膜に対して励振用電圧を印加するための 2 つの励振用電極とを有している。なお、薄膜圧電共振子の具体的な構成については、後で詳しく説明する。

#### 【0061】

ここで、図 3 を参照して、本実施の形態に係る圧電共振フィルタの周波数特性について説明する。図 3 において (a) は直列共振子 21 (符号 21 は符号 21 T, 21 R を代表する。) および並列共振子 22 (符号 22 は符号 22 T, 22 R を代表する。) のインピーダンスの周波数特性を概念的に表している。(a) において、符号 25 は直列共振子 21 のインピーダンスの周波数特性を示し、符号 26 は並列共振子 22 のインピーダンスの周波数特性を示している。また、図 3 において (b) は、一定レベルの信号を圧電共振フィルタに入力させたときの、圧電共振フィルタの出力信号のレベルの周波数特性を概念的に表している。

#### 【0062】

本実施の形態では、図 3 に示したように、直列共振子 21 の共振周波数  $f_{rs}$  と

並列共振子 22 の反共振周波数  $f_{ap}$  を、圧電共振フィルタの所望の通過帯域 27 の中心周波数  $f_0$  に合わせている。並列共振子 22 は低周波側の減衰極 29 を発現させ、直列共振子 21 は高周波側の減衰極 28 を発現させる。すなわち、並列共振子 22 の共振周波数  $f_{rp}$  は低周波側の減衰極 29 が現れる周波数と一致し、直列共振子 21 の反共振周波数  $f_{as}$  は高周波側の減衰極 28 が現れる周波数と一致する。なお、図 3 では、圧電共振フィルタの通過帯域 27 を、並列共振子 22 の共振周波数  $f_{rp}$  から、直列共振子 21 の反共振周波数  $f_{as}$  までの周波数範囲として規定している。

#### 【0063】

図 3 から分かるように、圧電共振フィルタの通過帯域 27 は、各共振子 21, 22 の共振周波数（反共振周波数を含む。）に依存する。そのため、温度の変化に応じて各共振子 21, 22 の共振周波数が変化すると、温度の変化に応じて圧電共振フィルタの通過帯域 27 が変化する。

#### 【0064】

ここで、図 6 を参照して、共振子 21, 22 を構成する薄膜圧電共振子の共振周波数の温度特性について説明する。図 6 は、薄膜圧電共振子のインピーダンスの周波数特性を概念的に表している。図 6 において、 $f_r$  は共振周波数を表わし、 $f_a$  は反共振周波数を表わしている。薄膜圧電共振子において、何ら対策を講じない場合には、温度の変化に応じて、周波数  $f_r$ ,  $f_a$  が高周波側または低周波側に移動する。温度変化に対する共振周波数の変化率を、共振周波数の温度係数と言う。温度の上昇に応じて共振周波数が高周波側に移動する場合、共振周波数の温度係数は正の値となる。温度の上昇に応じて共振周波数が低周波側に移動する場合、共振周波数の温度係数は負の値となる。

#### 【0065】

共振周波数の温度係数は、薄膜圧電共振子の振動部分を構成する薄膜の材料の弾性定数の温度係数に依存する。以下、このことを詳しく説明する。薄膜中を伝搬する波の速度、すなわち音速を  $v$  とし、波の波長を  $\lambda$  とし、波の周波数を  $f$  とすると、これらの間には次の式（1）で示される関係がある。

#### 【0066】



$$v = f \lambda \quad \cdots (1)$$

【0067】

次に、薄膜の材料の弾性定数を  $k$  とし、薄膜の材料の密度を  $\rho$  とする。これらと音速  $v$  との間には、次の式 (2) で示される関係がある。

【0068】

$$v = \sqrt{k / \rho} \quad \cdots (2)$$

【0069】

式 (1), (2) より、次の式 (3) が得られる。

【0070】

$$f = (1 / \lambda) \sqrt{k / \rho} \quad \cdots (3)$$

【0071】

式 (3) より、周波数  $f$  は、弾性定数  $k$  の平方根に比例することが分かる。一方、弾性定数には温度依存性がある。弾性定数の温度係数が正の値である場合、共振周波数の温度係数も正の値となる。逆に、弾性定数の温度係数が負の値である場合、共振周波数の温度係数も負の値となる。

【0072】

弾性定数およびその温度係数は、物質固有の値である。例えば、特許文献 2 には、「弾性スチフネス  $C_{33}^E$  の温度係数の値が  $ZnO$ 、 $Si$  が負、 $SiO_2$  が正である」と記載されている。このように、 $ZnO$  と  $SiO_2$  では、弾性定数である弾性スチフネス  $C_{33}^E$  の温度係数の正負の符号が異なっている。従って、薄膜圧電共振子において、例えば圧電薄膜の材料が  $ZnO$  である場合には、 $SiO_2$  からなる温度補償層を設けることにより、薄膜圧電共振子の共振周波数の温度係数を零に近づけることができる。

【0073】

なお、薄膜圧電共振子の共振周波数の温度特性は、薄膜の材料の弾性定数の温度依存性に起因して発現する他に、薄膜圧電共振子を構成する複数の膜の熱膨張係数の違いによっても発現し得る。

【0074】

本実施の形態に係る圧電共振フィルタ、すなわち送信用フィルタ 97 および受

信用フィルタ 98 では、直列共振子 21 と並列共振子 22 の少なくとも一方は、共振周波数の温度変化に対する変化率を零に近づけるための温度補償層を有している。この温度補償層は、圧電薄膜の材料の弾性定数の温度係数とは正負の符号が異なる弾性定数の温度係数を有する材料よりなる。本実施の形態では、直列共振子 21 における温度補償層の厚みと並列共振子 22 における温度補償層の厚みとは互いに異なっている。その結果、本実施の形態に係る圧電共振フィルタでは、低周波側の減衰極 29 が現れる周波数と高周波側の減衰極 28 が現れる周波数とで、温度変化に対する周波数の変化率が異なっている。なお、本実施の形態では、直列共振子 21 における温度補償層の厚みと並列共振子 22 における温度補償層の厚みの一方が零であってもよい。言い換えると、直列共振子 21 と並列共振子 22 の一方は温度補償層を有していなくてもよい。

#### 【0075】

次に、図 7 を参照して、本実施の形態における薄膜圧電共振子の構成の一例について説明する。図 7 は本例における薄膜圧電共振子の断面図である。図 7 に示した薄膜圧電共振子は、基体 11 と、この基体 11 の下面に隣接するように配置された下部バリア層 12 と、基体 11 の上面に隣接するように配置された上部バリア層 13 と、上部バリア層 13 の上面に隣接するように配置された温度補償層 20 とを備えている。薄膜圧電共振子は、更に、温度補償層 20 の上に配置された下部電極 14 と、この下部電極 14 の上に配置された圧電薄膜 15 と、この圧電薄膜 15 の上に配置された上部電極 16 とを備えている。

#### 【0076】

基体 11 は、薄膜圧電共振子における他の構成要素を支持するためのものである。基体 11 には空洞 11a が設けられている。基体 11 には、例えば Si 基板が用いられる。

#### 【0077】

下部バリア層 12 は、基体 11 に空洞 11a を形成するためのマスクとして用いられる。そのため、下部バリア層 12 には、空洞 11a に対応する位置に開口部 12a が形成されている。下部バリア層 12 の材料には、例えば窒化ケイ素 (SiN<sub>x</sub>) が用いられる。

## 【0078】

上部バリア層 13 は、基体 11 と温度補償層 20 とを隔てる絶縁層である。上部バリア層 13 の材料には、例えば窒化ケイ素 ( $\text{SiN}_x$ ) が用いられる。

## 【0079】

温度補償層 20 は、圧電薄膜 15 の材料の弾性定数の温度係数とは正負の符号が異なる弾性定数の温度係数を有する材料よりなる。温度補償層 20 の材料としては、例えば二酸化ケイ素 ( $\text{SiO}_2$ ) が用いられる。なお、前述のように、本実施の形態では、直列共振子 21 と並列共振子 22 の一方は温度補償層 20 を有していなくてもよい。

## 【0080】

圧電薄膜 15 は、圧電性を有する薄膜である。圧電薄膜 15 の材料には、例えば  $\text{ZnO}$  が用いられる。下部電極 14 および上部電極 16 は、それぞれ、主として金属よりなる。下部電極 14 の材料としては例えば  $\text{Pt}$  が用いられ、上部電極 16 の材料としては例えば  $\text{Al}$  が用いられる。

## 【0081】

上部電極 16 は、基体 11 の空洞 11a に対応する位置に配置されている。従って、下部電極 14 と、上部電極 16 は、圧電薄膜 15 を介して対向している。

## 【0082】

なお、図 7 に示した例では、基体 11 に空洞 11a を形成したが、基体 11 の上面に窪みを形成し、上部バリア層 13 と基体 11 の間で空隙を形成するようにしてもよい。

## 【0083】

また、図 7 に示した例では、上部バリア層 13 の上に温度補償層 20 を配置したが、温度補償層 20 は、上部電極 16 と圧電薄膜 15 の間や、上部電極 16 の上に配置してもよい。

## 【0084】

次に、本実施の形態に係る圧電共振フィルタおよびデュプレクサ 90 の作用について説明する。デュプレクサ 90 において、送信用フィルタ 97 は、送信信号を通過させ、受信信号を遮断し、受信用フィルタ 98 は、受信信号を通過させ、

送信信号を遮断する。送信用フィルタ 97 は、所定の第 1 の通過帯域の両側に配置される第 1 の低周波側の減衰極 111 および第 1 の高周波側の減衰極 112 を示す周波数特性を有している。また、受信用フィルタ 98 は、第 1 の通過帯域とは異なる第 2 の通過帯域の両側に配置される第 2 の低周波側の減衰極 121 および第 2 の高周波側の減衰極 122 を示す周波数特性を有している。

#### 【0085】

各フィルタ 97, 98 は、ラダー型のフィルタ回路を構成する直列共振子 21 と並列共振子 22 とを有している。並列共振子 22 は低周波側の減衰極を発現させ、直列共振子 21 は高周波側の減衰極を発現させる。

#### 【0086】

各共振子 21, 22 において、下部電極 14 と上部電極 16 には、高周波の励振用電圧が印加される。この励振用電圧は圧電薄膜 15 に印加される。これにより、圧電薄膜 15 のうち、下部電極 14 と上部電極 16 との間に配置された部分が励振され、この部分に厚み方向に進行する縦波が発生する。この部分は、励振用電圧の周波数が所定の共振周波数のときに共振する。

#### 【0087】

ところで、本実施の形態では、前述のように、直列共振子 21 における温度補償層の厚み 20 と並列共振子 22 における温度補償層 20 の厚みとは互いに異なっている。以下、デュプレクサ 90 が図 5 に示した周波数特性を有する場合を例にとって、温度補償層 20 の厚みについて詳しく説明する。

#### 【0088】

まず、送信用フィルタ 97 では、直列共振子 21 T における温度補償層 20 の厚みは、並列共振子 22 T における温度補償層 20 の厚みよりも大きくなっている。直列共振子 21 T における温度補償層 20 の厚みは、直列共振子 21 T の共振周波数の温度係数が零に近づくように設定される。並列共振子 22 T における温度補償層 20 の厚みは、零であってもよい。その結果、送信用フィルタ 97 では、低周波側の減衰極 111 が現れる周波数  $f_{11}$  と高周波側の減衰極 112 が現れる周波数  $f_{12}$  のうち、受信用フィルタ 98 の通過帯域に近い方の周波数すなわち高周波側の減衰極 112 が現れる周波数  $f_{12}$  における温度係数の絶対値は、他

方の周波数すなわち低周波側の減衰極 111 が現れる周波数  $f_{11}$  における温度係数の絶対値よりも小さくなっている。

#### 【0089】

一方、受信用フィルタ 98 では、並列共振子 22R における温度補償層 20 の厚みは、直列共振子 21R における温度補償層 20 の厚みよりも大きくなっている。並列共振子 22R における温度補償層 20 の厚みは、並列共振子 22R の共振周波数の温度係数が零に近づくように設定される。直列共振子 21R における温度補償層 20 の厚みは、零であってもよい。その結果、受信用フィルタ 98 では、低周波側の減衰極 121 が現れる周波数  $f_{21}$  と高周波側の減衰極 122 が現れる周波数  $f_{22}$  のうち、送信用フィルタ 97 の通過帯域に近い方の周波数すなわち低周波側の減衰極 121 が現れる周波数  $f_{21}$  における温度係数の絶対値は、他方の周波数すなわち高周波側の減衰極 122 が現れる周波数  $f_{22}$  における温度係数の絶対値よりも小さくなっている。

#### 【0090】

図 5 に示した周波数特性を有するデュプレクサ 90 では、特に、送信用フィルタ 97 における高周波側の減衰極 112 が現れる周波数  $f_{12}$  と、受信用フィルタ 98 における低周波側の減衰極 121 が現れる周波数  $f_{21}$  の変化が問題となる。それは、これらの周波数の変化は、送信信号と受信信号とを分離するデュプレクサ 90 の性能を低下させるためである。本実施の形態では、温度補償層 20 を設けることによって、これらの周波数における温度係数の絶対値を小さくすることができる。

#### 【0091】

一方、送信用フィルタ 97 における低周波側の減衰極 111 が現れる周波数  $f_{11}$  は、送信信号の周波数帯域の低周波側の端の周波数に対して、低周波側に、ある程度離れるように設定することが可能である。この場合には、周波数  $f_{11}$  における温度係数の絶対値がある程度大きくても、さほど問題にはならない。同様に、受信用フィルタ 98 における高周波側の減衰極 122 が現れる周波数  $f_{22}$  は、受信信号の周波数帯域の高周波側の端の周波数に対して、高周波側に、ある程度離れるように設定することが可能である。この場合には、周波数  $f_{22}$  における温

度係数の絶対値がある程度大きくても、さほど問題にはならない。

#### 【0092】

従って、本実施の形態において、送信用フィルタ 97 の並列共振子 22 T における温度補償層 20 の厚みや、受信用フィルタ 98 の直列共振子 21 R における温度補償層 20 の厚みを小さくしても、さほど問題にはならない。本実施の形態では、共振子 22 T, 21 R における温度補償層 20 の厚みを小さくすることによって、温度補償層 20 に起因する共振子 22 T, 21 R の電気機械結合係数の低下を抑制することができる。その結果、本実施の形態によれば、温度補償層 20 に起因するフィルタ 97, 98 の通過帯域幅の減少を抑制することができる。

#### 【0093】

以上説明したように、本実施の形態によれば、デュプレクサ 90 における送信用フィルタ 97 および受信用フィルタ 98 の通過帯域幅が減少することを抑制しながら、温度変化に伴う通過帯域の変化による不具合の発生を防止することができる。

#### 【0094】

次に、図 7 に示した構成の薄膜圧電共振子を含む圧電共振フィルタの製造方法の一例について説明する。本例では、基体 11 として、表面が (100) 面となるように切断し、表面を研磨した Si 基板を用いた。そして、この基体 11 の上面 (表面) と下面 (裏面) にそれぞれ、化学的気相成長 (CVD) 法により、200 nm の厚みの窒化ケイ素 (SiN<sub>x</sub>) 膜を形成した。基体 11 の上面に形成された窒化ケイ素膜は上部バリア層 13 となり、基体 11 の下面に形成された窒化ケイ素膜は下部バリア層 12 となる。

#### 【0095】

次に、下部バリア層 12 に、反応性イオンエッチングを用いて、開口部 12 a を形成した。下部バリア層 12 は、後にエッチングによって基体 11 に空洞 11 a を形成するためのマスクとして用いられる。

#### 【0096】

次に、上部バリア層 13 の上に、スパッタ法およびリフトオフ法を用いて、SiO<sub>2</sub> よりなる温度補償層 20 を形成した。本例におけるリフトオフ法は、フォ

トリソグラフィによって下地の上にマスクを形成する工程、下地およびマスクの全面にスパッタ法によって薄膜を形成する工程、およびマスクをリフトオフする工程を含む。

#### 【0097】

本例では、以下のようにして温度補償層 20 を形成することによって、直列共振子 21 における温度補償層 20 の厚みを 300 nm とし、並列共振子 22 における温度補償層 20 の厚みを 50 nm とした。すなわち、本例では、まず、上部バリア層 13 の上面全体に、スパッタ法によって 50 nm の厚みの第 1 の SiO<sub>2</sub> 膜を形成した。次に、この第 1 の SiO<sub>2</sub> 膜の上のうち、直列共振子 21 が形成される領域に、リフトオフ法によって、250 nm の厚みの第 2 の SiO<sub>2</sub> 膜を形成した。

#### 【0098】

次に、温度補償層 20 の上に、真空蒸着法およびドライエッチング法により、Pt よりなる 150 nm の厚みの下部電極 14 を形成した。

#### 【0099】

次に、下部電極 14 の上に、スパッタ法により、ZnO よりなる 800 nm の厚みの圧電薄膜 15 を形成した。

#### 【0100】

次に、圧電薄膜 15 の上に、スパッタ法およびウエットエッチング法を用いて、A1 よりなる上部電極 16 を形成した。本例では、直列共振子 21 の共振周波数と並列共振子 22 の共振周波数とを異ならせるために、直列共振子 21 における上部電極 16 の厚みを 300 nm とし、並列共振子 22 における上部電極 16 の厚みを 525 nm とした。

#### 【0101】

圧電薄膜 15 のうち、下部電極 14 と上部電極 16 との間に配置された部分が共振する部分である。

#### 【0102】

次に、下部バリア層 12 をマスクとし、KOH を用いて、下面（裏面）側より基体 11 をエッチングして、空洞 11a を形成した。（100）面を有するよう

に配向した Si 基板よりなる基体 11 は、KOH により異方性エッチングが施される。その結果、基体 11 には、下側に向けて徐々に幅が広がる形状の空洞 11a が形成された。

#### 【0103】

本例では、ラダー型のフィルタ回路を構成する 2 つの直列共振子 21 と 2 つの並列共振子 22 を含む圧電共振フィルタを製造した。この圧電共振フィルタの回路構成は、図 1 に示した回路から第 2 および第 4 の直列共振子 21 T を除いた構成、または図 1 に示した回路から第 1 および第 3 の直列共振子 21 T を除いた構成となる。

#### 【0104】

次に、上記の製造方法によって形成された圧電共振フィルタの周波数特性を測定した結果を図 8 に示す。図 8 において、実線は  $-20^{\circ}\text{C}$  における圧電共振フィルタの周波数特性を示し、破線は  $80^{\circ}\text{C}$  における圧電共振フィルタの周波数特性を示している。この測定結果では、低周波側の減衰極が現れる周波数における温度係数は  $-55\text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$  となり、高周波側の減衰極が現れる周波数における温度係数は  $-45\text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$  となった。このことから、本例によれば、低周波側の減衰極が現れる周波数と高周波側の減衰極が現れる周波数とで、温度係数を異ならせることができることが分かる。

#### 【0105】

また、温度補償層 20 を、上部バリア層 13 と下部電極 14 との間ではなく、上部電極 16 と圧電薄膜 15 の間や上部電極 16 の上に配置し、他の条件は上記の例と同様にして製造した圧電共振フィルタについても周波数特性を測定した。その測定結果は、図 8 とほぼ同様となった。

#### 【0106】

次に、図 9 を参照して、本実施の形態における薄膜圧電共振子の構成の他の例について説明する。図 9 に示した例では、薄膜圧電共振子は、基体 11 と、この基体 11 の上に配置された音響多層膜 23 と、この音響多層膜 23 の上に配置された下部電極 14 と、この下部電極 14 の上に配置された圧電薄膜 15 と、この圧電薄膜 15 の上に配置された温度補償層 20 と、この温度補償層 20 の上に配



置された上部電極 16 とを備えている。音響多層膜 23 は、例えば AlN のように音響インピーダンスの高い材料からなる層 23A と、例えば SiO<sub>2</sub> のように音響インピーダンスの低い材料からなる層 23B とを交互に積層することによって構成されている。

#### 【0107】

下部電極 14、圧電薄膜 15、温度補償層 20 および上部電極 16 の材料は、図 7 に示した構成の薄膜圧電共振子と同様である。

#### 【0108】

図 9 に示した構成の薄膜圧電共振子において、層 23B の材料として、SiO<sub>2</sub> のように、圧電薄膜 15 の材料の弾性定数の温度係数とは正負の符号が異なる弾性定数の温度係数を有する材料を用いた場合には、この層 23B は、薄膜圧電共振子の共振周波数の温度係数を零に近づける機能を有する。この場合には、温度補償層 20 の他に、層 23B も温度補償層と見ることができる。すなわち、層 23B は温度補償層の一部を兼ねていると言える。従って、図 9 に示した構成の薄膜圧電共振子を用いることにより、共振周波数の温度係数をより零に近づけることが可能になる。

#### 【0109】

次に、図 9 に示した構成の薄膜圧電共振子を含む圧電共振フィルタの製造方法の一例について説明する。本例では、基体 11 として、表面が (100) 面となるように切断し、表面を研磨した Si 基板を用いた。そして、この基体 11 の上に、それぞれスパッタ法により、1.4 μm の厚みの AlN 層と、0.8 μm の厚みの SiO<sub>2</sub> 層とを交互に 4 層ずつ積層して、合計 8 層よりなる音響多層膜 23 を形成した。

#### 【0110】

次に、音響多層膜 23 の上に、真空蒸着法およびドライエッチング法により、Pt よりなる 150 nm の厚みの下部電極 14 を形成した。

#### 【0111】

次に、下部電極 14 の上に、スパッタ法により、ZnO よりなる 800 nm の厚みの圧電薄膜 15 を形成した。

## 【0112】

次に、圧電薄膜 15 の上に、 $\text{SiO}_2$  よりなる温度補償層 20 を形成した。本例では、直列共振子 21 における温度補償層 20 の厚みを 300 nm とし、並列共振子 22 における温度補償層 20 の厚みを 50 nm とした。この温度補償層 20 の形成方法は、図 7 に示した構成の薄膜圧電共振子における温度補償層 20 の形成方法と同様である。

## 【0113】

次に、温度補償層 20 の上に、スパッタ法およびウエットエッチング法を用いて、A1 よりなる上部電極 16 を形成した。本例では、直列共振子 21 の共振周波数と並列共振子 22 の共振周波数とを異ならせるために、直列共振子 21 における上部電極 16 の厚みを 300 nm とし、並列共振子 22 における上部電極 16 の厚みを 525 nm とした。

## 【0114】

本例では、ラダー型のフィルタ回路を構成する 2 つの直列共振子 21 と 2 つの並列共振子 22 を含む圧電共振フィルタを製造した。この圧電共振フィルタの回路構成は、図 1 に示した回路から第 2 および第 4 の直列共振子 21 T を除いた構成、または図 1 に示した回路から第 1 および第 3 の直列共振子 21 T を除いた構成となる。

## 【0115】

次に、上記の製造方法によって形成された圧電共振フィルタの周波数特性を測定した。この測定結果では、低周波側の減衰極が現れる周波数における温度係数は  $-34 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$  となり、高周波側の減衰極が現れる周波数における温度係数は  $-24 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$  となった。このように、本例における測定結果では、図 7 に示した構成の薄膜圧電共振子を含む圧電共振フィルタにおける測定結果に比べて、温度係数の絶対値が小さくなっている。これは、本例では、音響多層膜 23 中の  $\text{SiO}_2$  層が温度補償層の一部を兼ねているためと考えられる。

## 【0116】

なお、図 9 では、圧電薄膜 15 と上部電極 16 の間に温度補償層 20 を配置したが、温度補償層 20 は上部電極 16 の上に配置してもよい。温度補償層 20 を

上部電極 16 の上に配置し、他の条件は上記の例と同様にして製造した圧電共振フィルタについても周波数特性を測定した。その測定結果は、図 9 に示した構成の場合とほぼ同様となった。

#### 【0117】

なお、本発明は上記実施の形態に限定されず、種々の変更が可能である。例えば、本発明の圧電共振フィルタは、デュプレクサにおける送信用フィルタおよび受信用フィルタとして使用される場合に限らず、低周波側の減衰極が現れる周波数と高周波側の減衰極が現れる周波数の一方のみにおいて、温度変化に対する周波数の変化率を零に近づければよい場合に効果を発揮する。従って、本発明の圧電共振フィルタは、デュプレクサにおける送信用フィルタおよび受信用フィルタ以外の用途に用いられるものであってもよい。

#### 【0118】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載の圧電共振フィルタでは、低周波側の減衰極が現れる第 1 の周波数と高周波側の減衰極が現れる第 2 の周波数とでは、温度変化に対する周波数の変化率が異なる。従って、本発明によれば、通過帯域幅が減少することを抑制しながら、温度変化に伴う通過帯域の変化による不具合の発生を防止することが可能になるという効果を奏する。

#### 【0119】

また、請求項 5 記載の圧電共振フィルタでは、複数の薄膜圧電共振子は、それぞれ、音響インピーダンスが異なる複数の層を含むと共に一方の励振用電極を挟んで圧電薄膜とは反対側に配置された音響多層膜を有し、音響多層膜の複数の層のうちの一部の層は、温度補償層の一部を兼ねている。従って、本発明によれば、共振周波数の温度変化に対する変化率をより零に近づけることが可能になるという効果を奏する。

#### 【0120】

また、請求項 6 ないし 10 のいずれかに記載のデュプレクサでは、送信用フィルタは、第 1 の低周波側の減衰極と第 1 の高周波側の減衰極とによって決められる第 1 の通過帯域を有している。また、受信用フィルタは、第 2 の低周波側の減

衰極と第2の高周波側の減衰極とによって決められる第2の通過帯域を有している。第1の低周波側の減衰極が現れる周波数と第1の高周波側の減衰極が現れる周波数のうち、第2の通過帯域に近い方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率は、他方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率よりも小さい。従って、本発明によれば、送信用フィルタにおける通過帯域幅が減少することを抑制しながら、温度変化に伴う送信用フィルタにおける通過帯域の変化による不具合の発生を防止することが可能になるという効果を奏する。

#### 【0121】

また、請求項10記載のデュプレクサでは、複数の薄膜圧電共振子は、それぞれ、音響インピーダンスが異なる複数の層を含むと共に一方の励振用電極を挟んで圧電薄膜とは反対側に配置された音響多層膜を有し、音響多層膜の複数の層のうちの一部の層は、温度補償層の一部を兼ねている。従って、本発明によれば、共振周波数の温度変化に対する変化率をより零に近づけることが可能になるという効果を奏する。

#### 【0122】

また、請求項11ないし15のいずれかに記載のデュプレクサでは、送信用フィルタは、第1の低周波側の減衰極と第1の高周波側の減衰極とによって決められる第1の通過帯域を有している。また、受信用フィルタは、第2の低周波側の減衰極と第2の高周波側の減衰極とによって決められる第2の通過帯域を有している。第2の低周波側の減衰極が現れる周波数と第2の高周波側の減衰極が現れる周波数のうち、第1の通過帯域に近い方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率は、他方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率よりも小さい。従って、本発明によれば、受信用フィルタにおける通過帯域幅が減少することを抑制しながら、温度変化に伴う受信用フィルタにおける通過帯域の変化による不具合の発生を防止することが可能になるという効果を奏する。

#### 【0123】

また、請求項15記載のデュプレクサでは、複数の薄膜圧電共振子は、それぞれ、音響インピーダンスが異なる複数の層を含むと共に一方の励振用電極を挟んで圧電薄膜とは反対側に配置された音響多層膜を有し、音響多層膜の複数の層の

うちの一部の層は、温度補償層の一部を兼ねている。従って、本発明によれば、共振周波数の温度変化に対する変化率をより零に近づけることが可能になるという効果を奏する。

#### 【0124】

また、請求項16ないし20のいずれかに記載のデュプレクサでは、送信用フィルタは、第1の低周波側の減衰極と第1の高周波側の減衰極とによって決められる第1の通過帯域を有している。また、受信用フィルタは、第2の低周波側の減衰極と第2の高周波側の減衰極とによって決められる第2の通過帯域を有している。第1の低周波側の減衰極が現れる周波数と第1の高周波側の減衰極が現れる周波数のうち、第2の通過帯域に近い方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率は、他方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率よりも小さい。また、第2の低周波側の減衰極が現れる周波数と第2の高周波側の減衰極が現れる周波数のうち、第1の通過帯域に近い方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率は、他方の周波数における温度変化に対する周波数の変化率よりも小さい。従って、本発明によれば、送信用フィルタおよび受信用フィルタにおける各通過帯域幅が減少することを抑制しながら、温度変化に伴う各通過帯域の変化による不具合の発生を防止することが可能になるという効果を奏する。

#### 【0125】

また、請求項20記載のデュプレクサでは、複数の薄膜圧電共振子は、それぞれ、音響インピーダンスが異なる複数の層を含むと共に一方の励振用電極を挟んで圧電薄膜とは反対側に配置された音響多層膜を有し、音響多層膜の複数の層のうちの一部の層は、温度補償層の一部を兼ねている。従って、本発明によれば、共振周波数の温度変化に対する変化率をより零に近づけることが可能になるという効果を奏する。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

本発明の一実施の形態に係るデュプレクサにおける送信用フィルタの回路構成の一例を示す回路図である。

**【図 2】**

本発明の一実施の形態に係るデュプレクサにおける受信用フィルタの回路構成の一例を示す回路図である。

**【図 3】**

本発明の一実施の形態に係る圧電共振フィルタの周波数特性を説明するための説明図である。

**【図 4】**

本発明の一実施の形態に係るデュプレクサの回路図である。

**【図 5】**

本発明の一実施の形態に係るデュプレクサの周波数特性の一例を示す特性図である。

**【図 6】**

本発明の一実施の形態における薄膜圧電共振子の共振周波数の温度特性について説明するための説明図である。

**【図 7】**

本発明の一実施の形態における薄膜圧電共振子の構成の一例を示す断面図である。

**【図 8】**

図 7 に示した薄膜圧電共振子を含む圧電共振フィルタの周波数特性の測定結果を示す特性図である。

**【図 9】**

本発明の一実施の形態における薄膜圧電共振子の構成の他の例を示す断面図である。

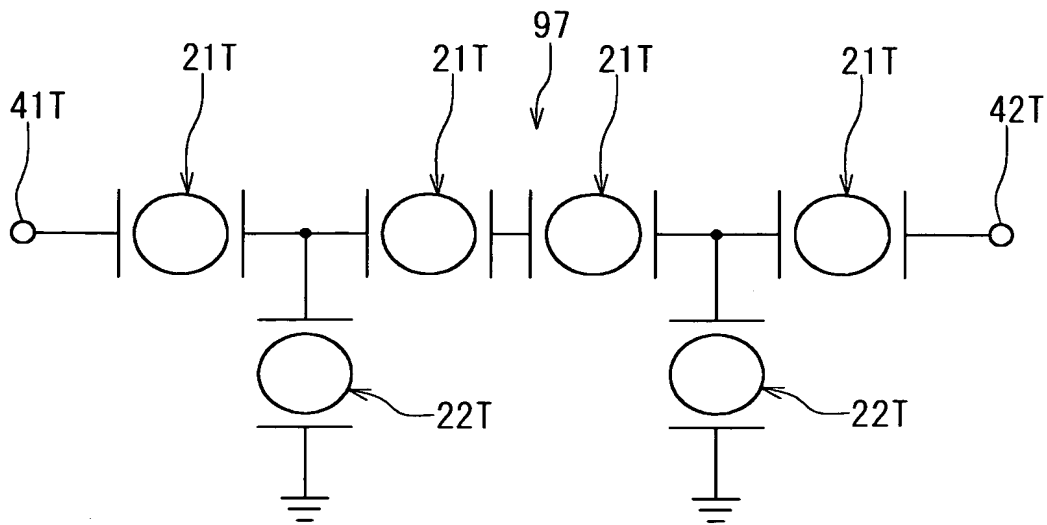
**【符号の説明】**

11…基体、12…下部バリア層、13…上部バリア層、14…下部電極、15…圧電薄膜、16…上部電極、21…直列共振子、22…並列共振子、20…温度補償層、90…デュプレクサ、97…送信用フィルタ、98…受信用フィルタ。

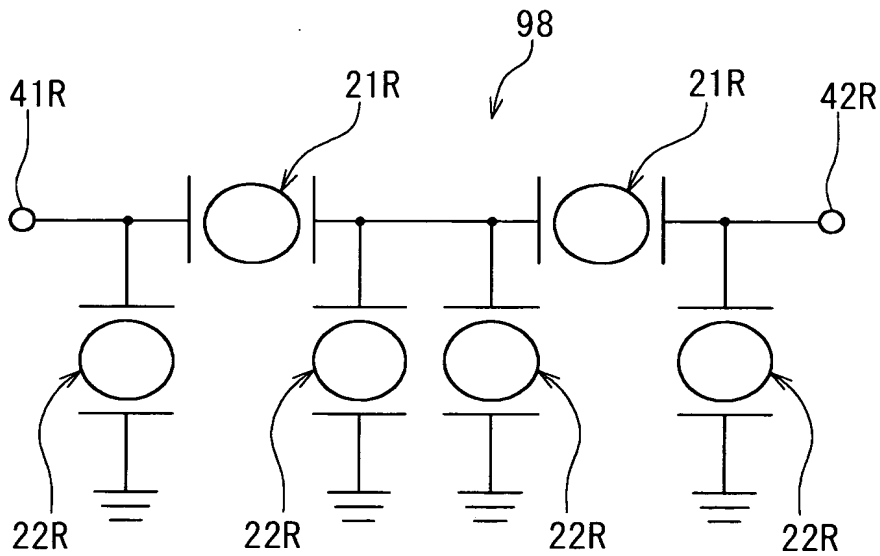
【書類名】

図面

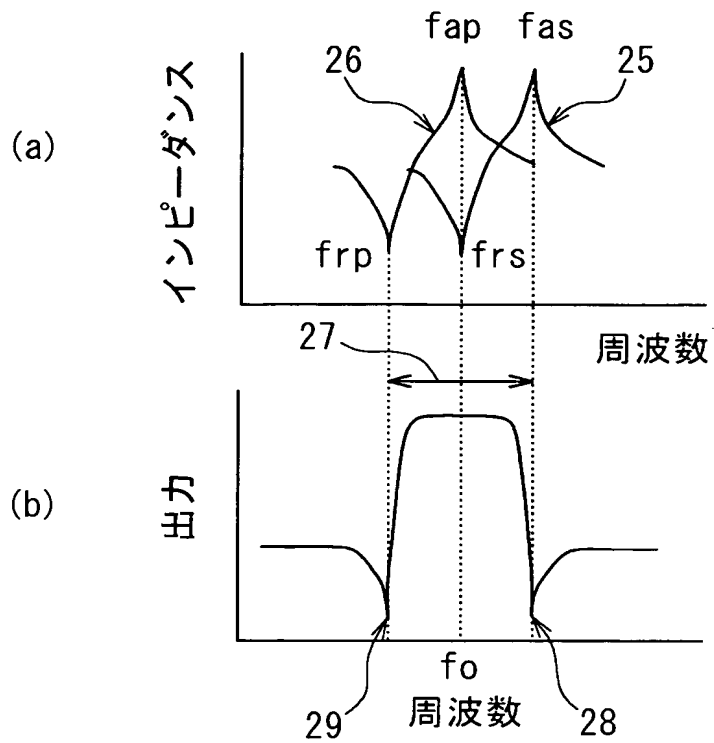
【図 1】



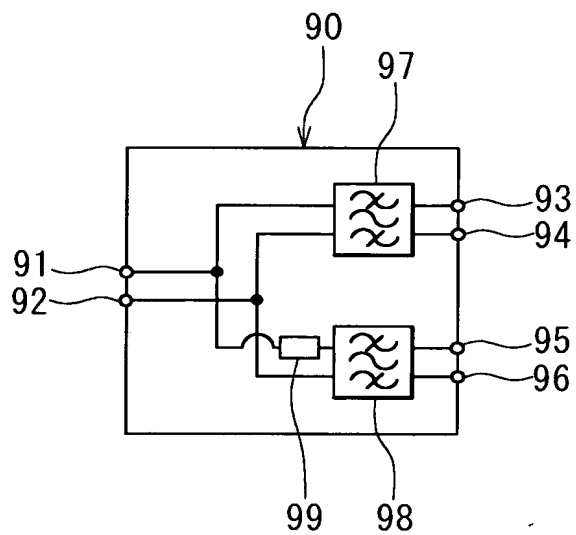
【図 2】



【図 3】

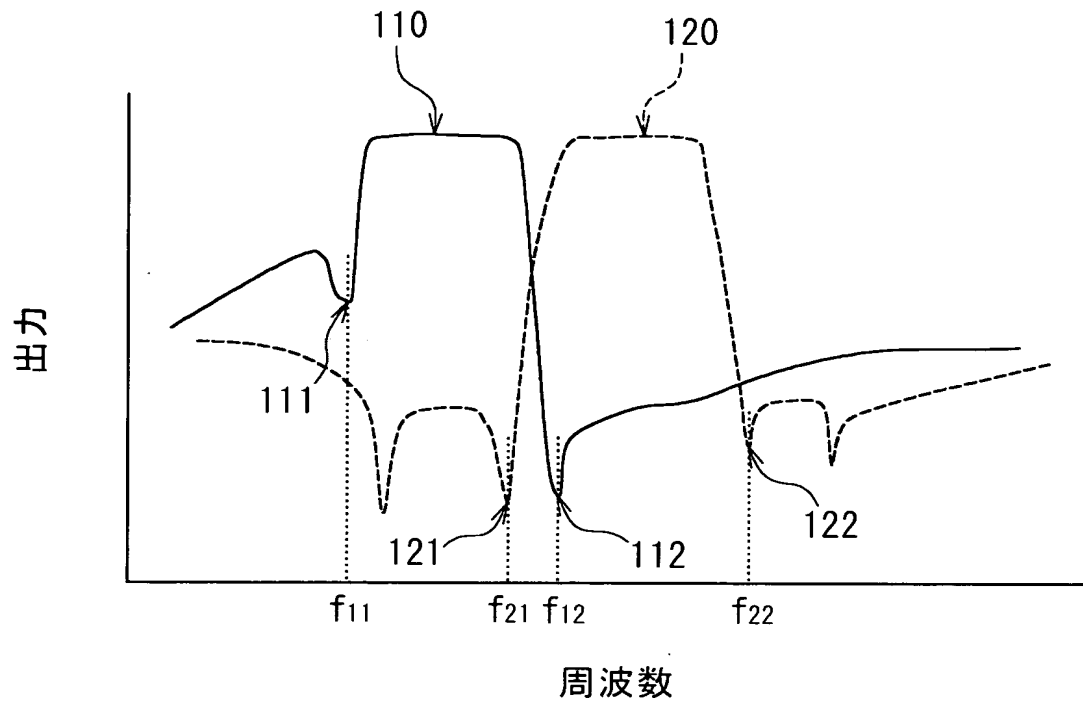


【図 4】

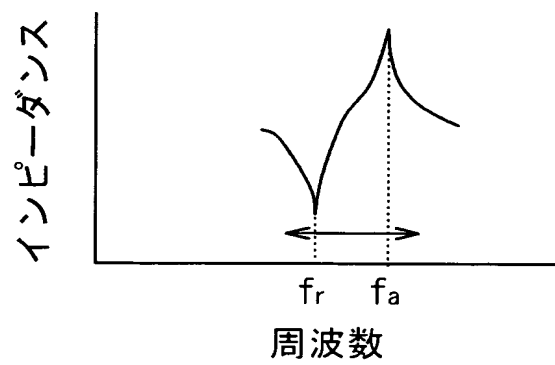




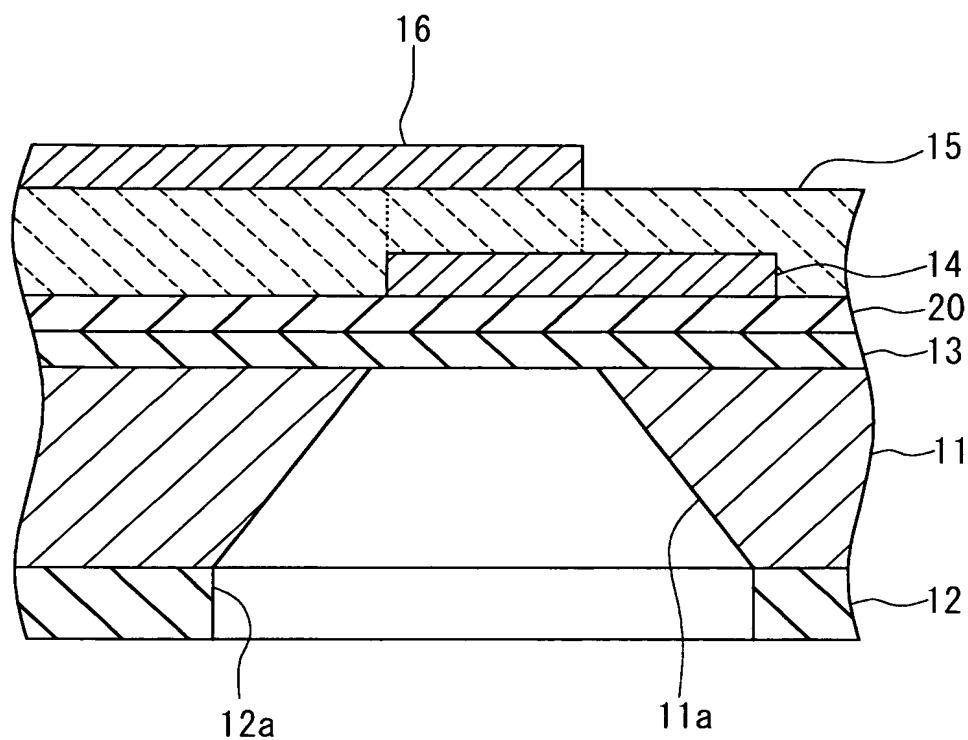
【図 5】



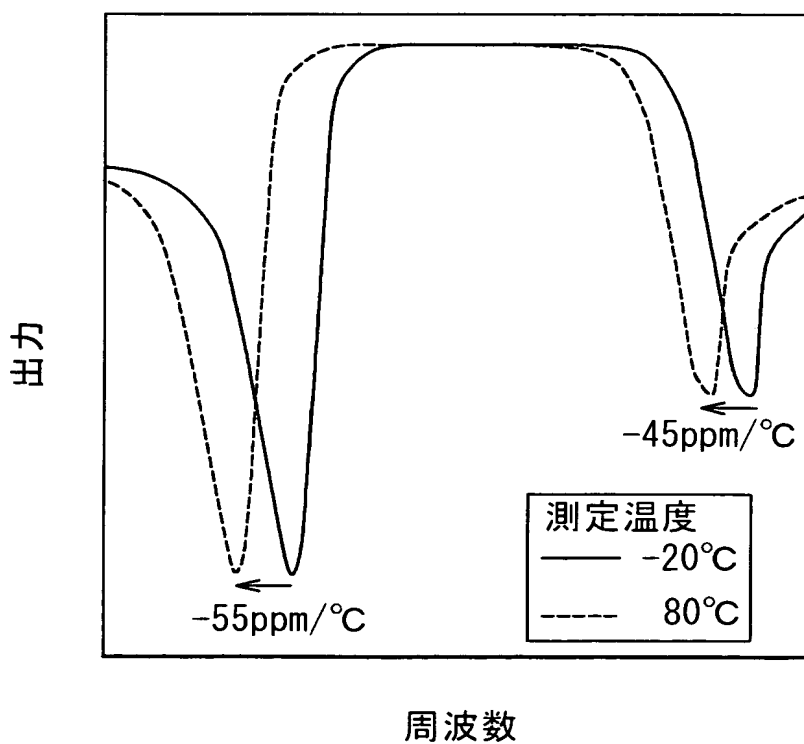
【図 6】



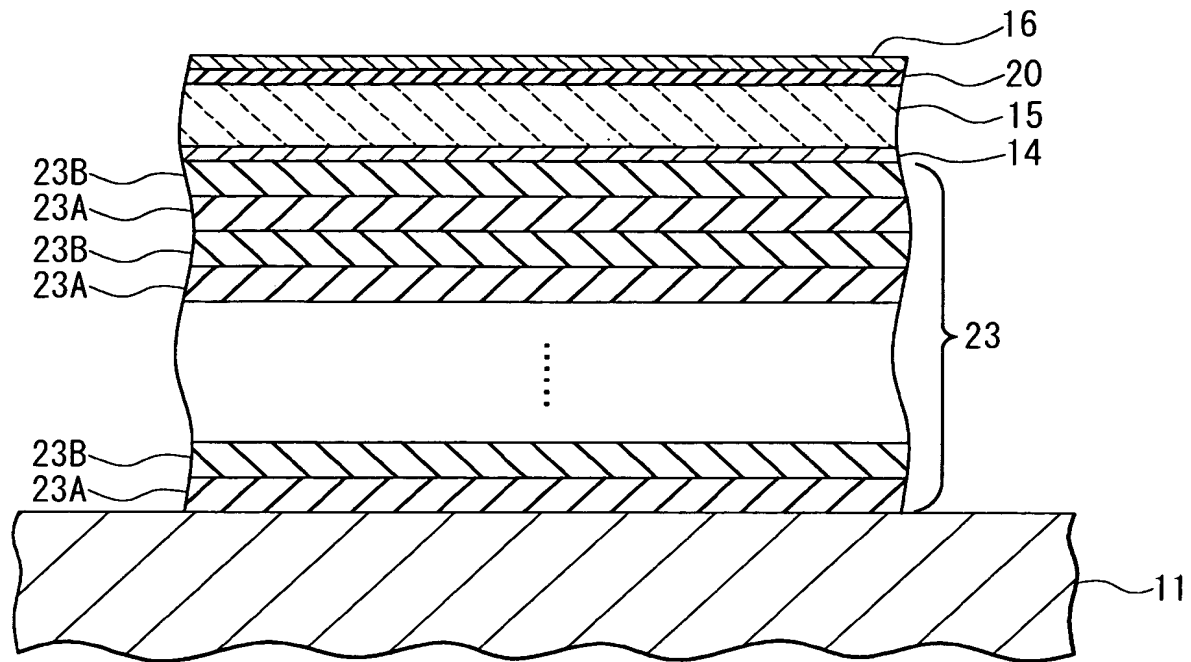
【図 7】



【図 8】



【図 9】



## 【書類名】

要約書

## 【要約】

【課題】 通過帯域幅が減少することを抑制しながら、温度変化に伴う通過帯域の変化による不具合の発生を防止する。

【解決手段】 圧電共振フィルタは、ラダー型のフィルタ回路を構成する直列共振子と並列共振子とを含んでいる。各共振子は、圧電性を有する圧電薄膜 15 と、圧電薄膜 15 の両面に配置され、圧電薄膜 15 に対して励振用電圧を印加するための下部電極 14 および上部電極 16 を有している。並列共振子はフィルタにおける低周波側の減衰極を発現させ、直列共振子はフィルタにおける高周波側の減衰極を発現させる。直列共振子と並列共振子の少なくとも一方は、共振周波数の温度係数を零に近づけるための温度補償層 20 を有している。直列共振子における温度補償層 20 の厚みと並列共振子における温度補償層 20 の厚みとは互いに異なっている。

## 【選択図】

図 7

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 2 - 3 5 9 0 2 7
受付番号	5 0 2 0 1 8 7 3 9 7 5
書類名	特許願
担当官	第七担当上席 0 0 9 6
作成日	平成 1 4 年 1 2 月 1 2 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】	平成14年12月11日
-------	-------------

次頁無

特願 2 0 0 2 - 3 5 9 0 2 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 3 0 6 7 ]

1. 変更年月日      1 9 9 0 年   8 月 3 0 日  
[変更理由]      新規登録  
                    住 所      東京都中央区日本橋 1 丁目 1 3 番 1 号  
                    氏 名      ティーディーケイ株式会社
  
2. 変更年月日      2 0 0 3 年   6 月 2 7 日  
[変更理由]      名称変更  
                    住 所      東京都中央区日本橋 1 丁目 1 3 番 1 号  
                    氏 名      T D K 株式会社